

Pengaturan dan Pengolahan Data pada *Plan live cell chamber*

Nur Awalludin Zuhri, Mochammad Rif'an dan Ponco Siwindarto

Abstrak— Sel merupakan kumpulan materi paling sederhana dan unit penyusun semua makhluk hidup. Penelitian sel sekarang masih menggunakan metode uji tabung. Metode ini mempunyai kelemahan yaitu penggantian cairan pada cawan petri seringkali terkontaminasi fungi dan cuci ulang inkubator meninggalkan formaldehid yang sulit dihilangkan. Sehingga perlu dirancang sebuah media dimana sel bisa tumbuh dengan parameter-parameter suhu, pH, kelembaban, CO₂ yang dapat terdeteksi langsung dan dikontrol tanpa harus mengganti cairan cawan petri secara manual.

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat modul mikrokontroler yang bisa mengolah data hasil sensor CO₂, suhu, kelembaban, pH serta keypad dengan menggunakan program yang mampu mengakses dan mengontrol data sensor CO₂, suhu, kelembaban, dan pH pada *Plan live cell chamber*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data yang dikirim oleh kontroler dapat diterima dengan baik oleh aktuator. Data yang dikirim pada mikrokontroler aktuator suhu, CO₂, dan kelembaban berupa karakter yang diikuti tanda plus(+) atau minus(-) untuk menentukan aktuator on atau off. Sedangkan pada aktuator pH, data dikirim dalam bentuk selisih *setpoint* dengan data terbaca untuk menentukan besarnya PWM yang dibutuhkan.

Kata Kunci— Data yang dikirim, Keypad, Sel, *Setpoint*.

I. PENDAHULUAN

LIVE Cell Chamber merupakan sebuah piranti yang digunakan sebagai tempat untuk perkembangbiakan bakteri atau sel di luar habitat aslinya, dimana sel atau bakteri tersebut telah diberikan suatu perlakuan yang disesuaikan seperti keadaan habitat aslinya. Perlakuan yang dimaksud terdiri atas empat parameter, yakni parameter suhu, parameter kelembaban, parameter pH, dan parameter CO₂. Dalam piranti ini dititikberatkan pada pengamatan dan penentuan empat parameter tersebut sesuai dengan kaidah medis yang berlaku. Dalam hal fungsi, *Live Cell Chamber* ini mampu mengatasi masalah dalam pengembangbiakan sel karena dengan adanya alat ini sel tidak harus berada di habitat aslinya, jadi pengembangbiakannya dapat dilakukan dimanapun,

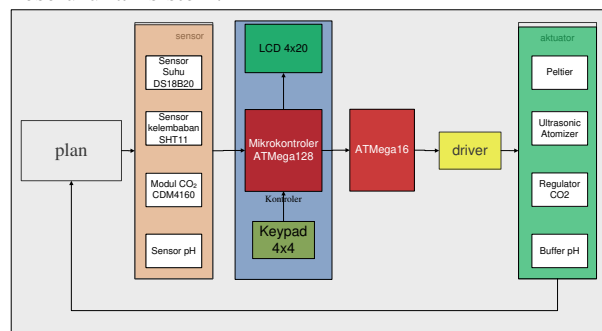
akan tetapi *live cell chamber* yang saat ini sudah ada masih beroperasi secara manual sehingga pengaturan empat parameter tersebut masih belum akurat.

Untuk mengatasi kekurangan tersebut, kami membuat *plan live cell chamber* yang beroperasi secara otomatis, sehingga tingkat akurasi dari perlakuan sel atau bakteri bisa lebih tinggi dan sel dimungkinkan dapat tumbuh sesuai dengan habitat aslinya. Kelebihan dari *plan* ini selain tingkat akurasi yang lebih tinggi dibanding dengan perlakuan secara manual adalah *plan* ini lebih ekonomis jika dibandingkan dengan *live cell chamber* yang dilakukan secara manual. *Plan live cell chamber* ini menggunakan sensor SHT11 yang digunakan untuk mengukur kelembaban, selain itu juga menggunakan sensor DS18B20 untuk mengukur suhu, *plan* ini juga menggunakan sensor untuk mengukur kadar CO₂, sensor terakhir yang digunakan adalah sensor pH.

Pengembangbiakan sel yang sesuai dengan habitat aslinya merupakan tujuan utama dari pengerjaan *plan live cell chamber*, dengan adanya *plan* ini diharapkan mampu membantu pengembangan teknologi di bidang elektronika medis.

II. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan dimulai dengan membuat blok diagram sistem. Gambar 1 menunjukkan blok diagram keseluruhan sistem.



Gambar 1. Blok Diagram keseluruhan sistem *Live Cell Chamber*

Prinsip kerja dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mikrokontroler membaca data yang dikeluarkan oleh sensor suhu, kelembaban, pH dan sensor CO₂.
2. Data yang diterima oleh mikrokontroler akan diproses sehingga akan menghasilkan data yang dibutuhkan di dalam penelitian ini.
3. Data hasil proses akan dikirim ke aktuator melalui ATmega16 dengan menggunakan komunikasi serial USART.

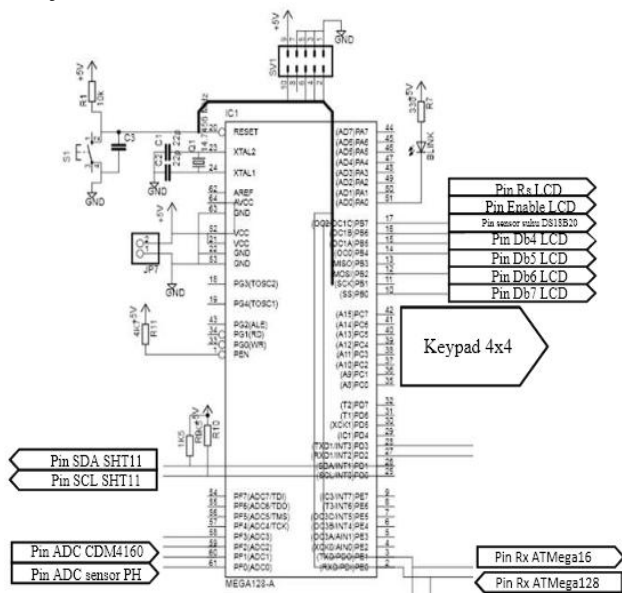
Nur Awalludin Zuhri adalah mahasiswa program sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (penulis dapat dihubungi melalui email: awal.2k8@gmail.com).

Mochammad Rif'an, ST., MT. dan Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc. adalah staf pengajar program sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email: rif_an91@yahoo.com; ponco@ub.ac.id).

Proses tersebut akan dilakukan terus menerus agar data yang diperoleh selalu sesuai dengan spesifikasi alat yang dibuat.

A. Rangkaian Sistem Minimal ATmega128

Mikrokontroler yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah ATmega128, yang berfungsi untuk mengolah data sensor suhu DS18B20, sensor kelembaban SHT11, sensor pH, dan modul CO₂ CDM4160. Rangkaian sistem minimum ATmega128 ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Sistem Minimum ATmega128

Pada perancangan alat ini, port yang digunakan adalah PORTB, PORTD, PORTE dan PORTF sebagai jalur komunikasi data. Pembagian pin mikrokontroler yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah:

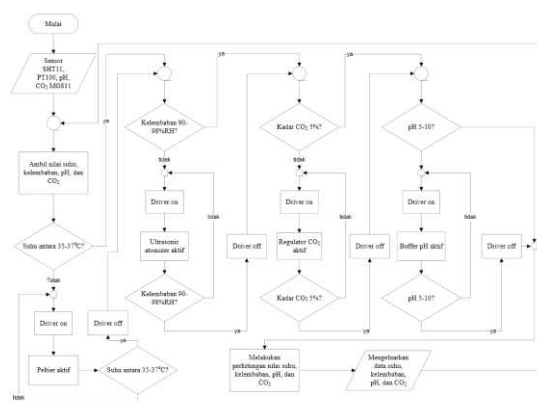
- PORTB.7 digunakan sebagai jalur Rs untuk LCD.
- PORTB.5 digunakan sebagai jalur Enable untuk LCD.
- PORTB.4 digunakan sebagai jalur data sensor suhu DS18B20
- PORTB.3 digunakan sebagai jalur Db4 untuk LCD.
- PORTB.2 digunakan sebagai jalur Db5 untuk LCD.
- PORTB.1 digunakan sebagai jalur Db6 untuk LCD.
- PORTB.0 digunakan sebagai jalur Db7 untuk LCD.
- PORTC.0-PORTC.7 digunakan sebagai pin untuk keypad.
- PORTD.0 digunakan sebagai jalur SCL untuk sensor SHT11
- PORTD.1 digunakan sebagai jalur SDA untuk sensor SHT11
- PORTE.0 digunakan sebagai jalur interrupt
- PORTE.1 digunakan sebagai jalur komunikasi dengan mikrokontroler ATmega16
- PORTF.0 digunakan sebagai jalur ADC sensor pH

- PORTF.1 digunakan sebagai jalur ADC sensor CO₂ TGS4160

B. Perancangan Perangkat lunak sistem keseluruhan

Perangkat lunak keseluruhan berfungsi sebagai pengolah data untuk mengatur nilai suhu, kelembaban, kadar CO₂, serta pH agar tetap sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan sistem *plan live cell chamber*. Secara umum, perangkat lunak sistem keseluruhan akan melakukan pengaturan suhu, pengaturan kelembaban, pengaturan kadar CO₂, serta pengaturan pH dengan memberi perintah kepada aktuator agar kondisi yang telah ditentukan bisa terus terjaga.

Perangkat lunak keseluruhan akan mengeluarkan data nilai suhu, kelembaban, CO₂ dan pH sesuai dengan kebutuhan *plan live cell chamber*. Diagram alir perangkat lunak sistem keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 3.

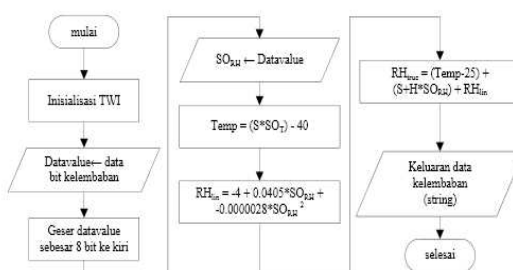


Gambar 3. Diagram Alir Keseluruhan Sistem

C. Perancangan Perangkat Lunak SHT11

Perancangan perangkat lunak sensor kelembaban SHT11 digunakan untuk mengakses data kelembaban hingga menghasilkan besar kelembaban di dalam chamber. Proses yang dilakukan dalam mengakses SHT11 ini melalui beberapa tahapan. Proses yang pertama adalah inisialisasi TWI, proses selanjutnya adalah memberi perintah ke sensor untuk mengambil data bit kelembaban. Bit kelembaban yang telah didapatkan akan diolah sehingga keluaran yang dihasilkan oleh sensor SHT11 dalam satuan derajat.

Lebih jelas tentang proses pengaksesan sensor SHT11 akan ditunjukkan dalam diagram alir pengolahan data SHT11.

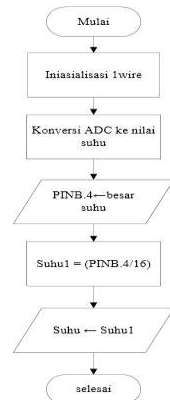


Gambar 4. Diagram Alir Sensor SHT11

D. Perancangan Perangkat Lunak DS18B20

Perancangan perangkat lunak sensor suhu DS18B20 ini digunakan untuk mengakses data keluaran sensor suhu DS18B20 melalui komunikasi 1wire. Dalam proses pengolahan sensor suhu ini yang pertama kali dilakukan adalah inisialisasi pin 1wire, kemudian dilakukan pengambilan data melalui PINB.4 mikrokontroler. Data yang dihasilkan oleh PINB.4 akan diolah kembali oleh mikrokontroler agar bisa didapatkan nilai suhu dalam satuan derajat.

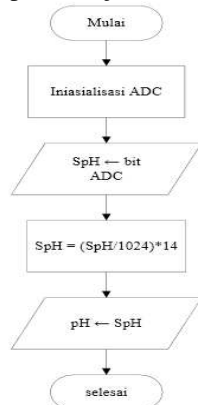
Diagram alir pengolahan data sensor suhu DS18B20 ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Sensor Suhu DS18B20

E. Perancangan Perangkat Lunak Sensor PH

Perancangan perangkat lunak sensor pH digunakan untuk mengakses nilai pH hingga menghasilkan nilai pH yang sesuai di dalam chamber. Diagram alir pengolahan sensor pH ditunjukkan dalam Gambar 6.

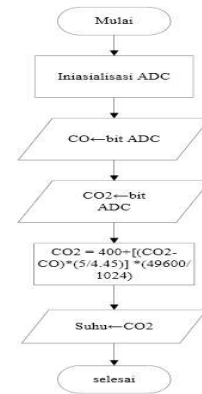


Gambar 6. Diagram Alir Pengolahan Sensor pH

Komunikasi sensor pH dilakukan melalui pin ADC sehingga proses pengolahan data sensor pH ini dimulai dengan inisialisasi pin ADC yang digunakan. Setelah pin selesai diinisialisasi, mikrokontroler akan melakukan pengambilan besar bit yang terbaca dalam pin ADC, data bit ini kemudian dimasukkan ke dalam variabel pH. Data ini kemudian dikalibrasi sehingga menghasilkan keluaran berupa nilai pH yang terukur oleh sensor.

F. Perancangan Perangkat Lunak CDM4160

Perancangan perangkat lunak sensor CO₂ CDM4160 digunakan untuk mengakses data CO₂ hingga menghasilkan kadar CO₂ yang sesuai di dalam chamber. Diagram alir pengolahan data CDM4160 ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir pengolahan data CO₂ CDM4160

Proses yang terjadi dalam pengolahan data CO₂ CDM4160 dimulai dengan inisialisasi ADC, kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data byte CO₂ yang disimpan di dalam variabel C. Variabel C ini digunakan sebagai kondisi awal sensor CO₂, setelah didapatkan nilai variabel C proses akan dilanjutkan dengan pengambilan data byte CO₂ yang digunakan sebagai data yang akan diolah oleh mikrokontroler. Setelah pengambilan data byte yang kedua sudah selesai maka akan dilakukan proses kalibrasi sensor sehingga didapatkan nilai dalam satuan ppm, karena data yang diinginkan dalam satuan persen (%), maka data tersebut diolah lagi sehingga menghasilkan besar CO₂ dalam satuan persen (%).

III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dilakukan untuk menganalisis apakah sistem telah bekerja sesuai perancangan.

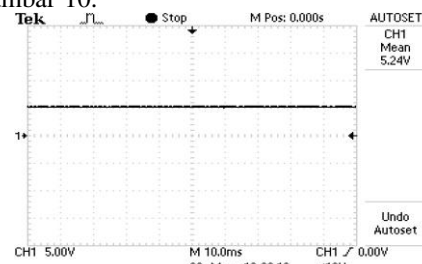
A. Pengujian Rangkaian Catu Daya

Pengujian rangkaian catu daya bertujuan untuk mengetahui kesesuaian tegangan keluaran dari catu daya. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan masukan dan keluaran dari rangkaian catu daya dengan osiloskop untuk mengetahui nilai tegangannya. Diagram blok pengujian rangkaian catu daya 5V ditunjukkan Gambar 8.



Gambar 8 Blok Diagram Pengujian Rangkaian Catu Daya 5V

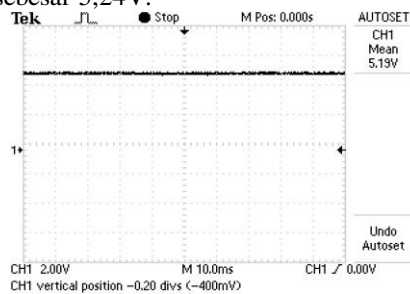
Pengujian rangkaian catu daya 5V dilakukan dengan menggunakan osiloskop TEKTRONIX TDS-1012B. Channel 1 osiloskop dihubungkan dengan keluaran rangkaian Switch Mode Power Supply. Hasil pengujian tegangan masukan dan tegangan keluaran pada rangkaian catu daya 5V ditunjukkan dalam Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9 Rangkaian Catu Daya 5V Tanpa Beban

Dari hasil pengujian diperoleh nilai tegangan

keluaran sebesar 5,24V. Nilai tersebut adalah nilai tegangan tanpa beban, yang berarti rangkaian catu daya 5V dapat menghasilkan tegangan maksimal (tanpa beban) sebesar 5,24V.



Gambar 10 Rangkaian Catu Daya 5V Dengan Beban

Dari hasil pengujian diperoleh nilai tegangan keluaran sebesar 5,19V. Nilai tersebut adalah nilai tegangan dengan beban mikrokontroler, yang berarti rangkaian catu daya 5V dapat menghasilkan tegangan maksimal (dengan beban) sebesar 5,19V.

Secara umum hasil dari pengujian catu daya ditunjukkan dalam Tabel 1.

TABEL 1
HASIL PENGUJIAN CATU DAYA

Pengujian	Tegangan (V)
Tanpa Beban	5.24
Dengan Beban	5.19

Dari hasil pengujian catu daya tersebut, dapat disimpulkan bahwa catu daya yang digunakan dapat diaplikasikan ke mikrokontroler ATmega128 karena sumber yang digunakan ATmega128 antara 4.5-5.5V.

B. Pengujian dan Kalibrasi Sensor

Pengujian dan kalibrasi sensor ini bertujuan untuk mengetahui besar penyimpangan yang terjadi pada masing-masing sensor. Pengujian dan kalibrasi sensor ini terdiri atas pengujian dan kalibrasi sensor suhu, sensor pH, sensor kelembaban, dan sensor CO₂.

Pengujian dan kalibrasi sensor kelembaban ditunjukkan dalam Tabel 2.

TABEL 2
HASIL PENGUJIAN SENSOR SHT11

No	Data Higrometer (%RH)	Data Kelembaban SHT 11 (%RH)	Kesalahan (%)
1	81	81,33	0,4
2	85	85,21	0,24
3	88	87,94	0,06
4	92	92,15	0,38
5	95	95,23	0,45
Rata-Rata Kesalahan			0,306

Dari Tabel 2 hasil pengukuran kelembaban oleh sensor SHT11 dalam Tabel 2 menunjukkan bahwa rata-rata kesalahan pengukuran kelembaban oleh sensor SHT11 sebesar 0,306%. Nilai *error* ini muncul dikarenakan pembacaan yang tidak tepat pada higrometer untuk skala yang lebih kecil serta sensitivitas sensor SHT11 yang mampu mendeteksi perubahan kondisi dengan cepat. Dari Tabel 2 dapat ditarik grafik penyimpangan sensor, grafik tersebut ditunjukkan dalam Gambar 11.



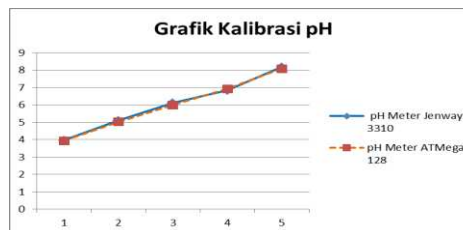
Gambar 11 Grafik Penyimpangan Sensor Kelembaban SHT11

Pengujian dan kalibrasi sensor pH ditunjukkan dalam Tabel 3.

TABEL 3
HASIL PENGUJIAN KALIBRASI PH METER

pH	pH Meter Jenway 3310	pH Meter ATmega 128	Error (%)
4	3,96	3,94	0,5
5	5,1	5,02	1,57
6	6,11	5,99	1,96
7	6,84	6,92	1,73
8	8,17	8,09	0,98
Rata-Rata Kesalahan			1,234

Dari hasil kalibrasi pH berdasar Tabel 3 diketahui bahwa rata-rata kesalahan pengukuran pH sebesar 1,234%. *Error* ini disebabkan oleh sensitivitas sensor yang kurang, serta kecepatan baca sensor pH yang lebih lambat dari pH meter kalibrator.



Gambar 12 Grafik Penyimpangan Sensor pH

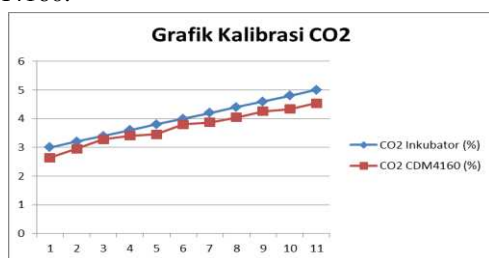
Pengujian dan kalibrasi sensor CO₂ ditunjukkan dalam Tabel 4.

TABEL 4
HASIL PENGUJIAN SENSOR CO2

No	CO2 Inkubator (%)	CO2 CDM4160 (%)	Kesalahan (%)
1	3,0	2,64	12
2	3,2	2,95	7,81
3	3,4	3,28	3,53
4	3,6	3,41	5,28
5	3,8	3,45	9,21
6	4,0	3,8	5
7	4,2	3,87	7,86
8	4,4	4,04	8,18
9	4,6	4,26	7,39
10	4,8	4,33	9,79
11	5,0	4,54	9,2
Rata-Rata Kesalahan			7,75

Dari hasil kalibrasi CO₂ berdasar Tabel 4 diketahui bahwa rata-rata kesalahan pengukuran CO₂ sebesar 13,51%, *error* ini masih sesuai dengan spesifikasi sensor yang memiliki kesalahan sebesar 20%.

Kesalahan ini terjadi karena adanya perbedaan spesifikasi antara sensor CO₂ TGS4160 dengan modul CDM4160.



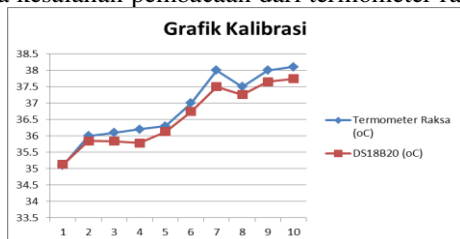
Gambar 13. Grafik Penyimpangan Sensor CO2 CDM4160

Pengujian dan kalibrasi sensor suhu ditunjukkan dalam Tabel 5.

TABEL 5
HASIL PENGUJIAN SENSOR DS18B20

No	Termometer Raksa (°C)	DS18B20 (°C)	Kesalahan (%)
1	35	35	0
2	35,1	35.13	0,09
3	36	35.85	0,42
4	36,1	35.84	0,72
5	36,2	35.78	1,16
6	36,3	36.13	0,47
7	37	36.74	0,7
8	38	37.5	1,32
9	37,5	37.26	0,64
10	38	37.65	0,92
11	38,1	37.74	0,94
Rata-Rata Kesalahan			0,67

Dari hasil kalibrasi suhu berdasar Tabel 5 diketahui bahwa rata-rata kesalahan pengukuran suhu sebesar 0,67%, *error* ini lebih kecil dari toleransi *error* sensor sebesar 1,43%. *Error* yang terjadi disebabkan karena adanya kesalahan pembacaan dari termometer raksa.



Gambar 14. Grafik Penyimpangan Sensor Suhu DS18B20

C. Pengujian Mikrokontroler ATmega128

Pengujian mikrokontroler ini bertujuan untuk mengetahui apakah mikrokontroler bekerja dengan baik dalam memproses data dari sensor dan keypad melalui jalur-jalur yang sesuai dengan sensor yang digunakan.

Prosedur pengujian dilakukan dengan menghubungkan mikrokontroler dengan semua sensor yang digunakan dalam *plan live cell chamber*. LCD digunakan sebagai media untuk menampilkan hasil dari pengolahan dan kalibrasi data sensor.



Gambar 12 Blok Diagram Pengujian Mikrokontroler

Hasil pengujian mikrokontroler ditunjukkan dalam Gambar 15.



Gambar 15 Tampilan Pengujian Mikrokontroler

Dari pengujian mikrokontroler yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa mikrokontroler ATmega128 dapat membaca sensor secara realtime dan bekerja sesuai dengan perancangan yang dilakukan.

D. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui *error* yang terjadi ketika memberikan perintah kepada aktuator dalam mengkondisikan data yang sesuai dengan *setpoint* dari sistem yang telah dibuat.

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan pada semua sensor dengan membandingkan nilai yang terbaca oleh sensor dengan *setpoint* yang ditentukan, kemudian mengirimkan perintah melalui jalur Tx. Perintah yang dikirimkan akan dimonitoring melalui LCD untuk mengetahui apakah perintah yang dikirim sudah benar.

Hasil pengujian sistem secara keseluruhan ditunjukkan dalam Tabel 6, 7, 8 dan 9

Tabel 6. Hasil Pengujian Kontrol Suhu

Setpoint = 37°C

No	Data Sensor (°C)	Perintah yang Dikirim	Data keluaran (°C)
1	24,31	S+	26,07
2	27,07	S+	29,84
3	29,84	S+	31,93
4	31,93	S+	34,07
5	34,07	S+	37,40
6	37,40	S-	37,05
7	37,05	S-	36,73
8	36,73	S+	37,34

Tabel 7. Hasil Pengujian Kontrol Kelembaban

Setpoint = 95%

No	Data Terbaca (%)	Perintah yang Dikirim	Data Keluaran (%)
1	70,12	K+	74,92
2	74,92	K+	84,94
3	84,94	K+	87,38
4	87,38	K+	93,26
5	93,26	K+	96,42
6	96,42	K-	94,33
7	94,33	K+	95,92

8	95,92	K-	94,18
---	-------	----	-------

Tabel 8. Hasil Pengujian Kontrol CO₂

Setpoint = 3,9%

No	Data Terbaca (%)	Perintah yang Dikirim	Data Keluaran (%)
1	2,63	C+	2,87
2	2,87	C+	2,98
3	2,98	C+	3,24
4	3,24	C+	3,49
5	3,49	C+	3,71
6	3,71	C+	3,96
7	3,96	C-	3,79
8	3,79	C+	3,92

Tabel 9. Hasil Pengujian Kontrol pH

Setpoint = 7,5

No	Data Terbaca	Data yang Dikirim	Data Keluaran
1	7.13	P+	7,27
2	7.27	P+	7,41
3	7.41	P+	7,52
4	7.52	P-	7,38
5	7.38	P+	7,58
6	7.58	P-	7,47
7	7.47	P+	7,53
8	7.53	P-	7,48

Ket: P= Setpoint - Data Terbaca

Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diketahui bahwa data yang dikirim oleh kontroler dapat diterima dengan baik oleh aktuator. Data yang dikirim pada mikrokontroler aktuator suhu, CO₂, dan kelembaban berupa karakter yang diikuti tanda plus (+) atau minus (-) untuk menentukan aktuator on atau off. Sedangkan pada aktuator pH, data dikirim dalam bentuk selisih *setpoint* dengan data terbaca untuk menentukan besarnya PWM yang dibutuhkan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis pengaturan dan pengolahan data pada *plan live cell chamber* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Mikrokontroler ATmega128 dapat membaca data sensor suhu, kelembaban, pH dan CO₂, serta mampu mengolah data sensor-sensor yang ada sehingga:

- Keluaran yang dihasilkan oleh sensor suhu DS18B20 memiliki *error* rata-rata sebesar 0,67% dari *error* yang diijinkan sensor sebesar 1,43%.
- Keluaran modul CO₂ CDM4160 menunjukkan *error* sebesar 9,2% pada pengukuran maksimal dari toleransi sebesar 20%.
- Keluaran sensor SHT11 melakukan *error* rata-rata pengukuran sebesar $\pm 0,306\%$ dari toleransi sensor sebesar $\pm 3\%$.

- Keluaran sensor pH memiliki *error* rata-rata sebesar 1,234%.

2. Mikrokontroler ATmega128 bisa memberikan perintah ke mikrokontroler ATmega16 dengan baik, sehingga aktuator bisa mengeksekusi perintah.

- Pada saat diberi perintah menaikkan suhu, terjadi kenaikan suhu dari 24,31° menjadi 37,40°C, dan terdapat perubahan suhu dari 37,40° menjadi 36,73°C ketika diberi perintah untuk menurunkan suhu.
- Terjadi kenaikan kelembaban dari 70,12% menjadi 96,42% pada saat ada perintah untuk menaikkan, dan dari 96,42% menjadi 94,18% ketika perintah untuk menurunkan kelembaban.
- Adanya kenaikan pH dari 7,13 menjadi 7,52 dan penurunan pH dari 7,52 menjadi 7,38.
- Terdapat kenaikan CO₂ dari 2,63% menjadi 3,96% dan penurunan pH dari 3,96% menjadi 3,79%.

B. Saran

Saran-saran dalam pengimplementasian maupun peningkatan unjuk kerja sistem ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Melakukan Penelitian terhadap sel terlebih dahulu sebelum menentukan spesifikasi sistem yang akan dibuat.
2. Memonitoring sel dengan intensif supaya dapat diketahui perkembangan sel yang sesuai dengan kebutuhan sel yang diteliti.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dailey, Michael E. *Maintaining Live Cells on the Microscope Stage*. <http://microscopyu.com/articles>.
- [2] H. Galster. 1991, pH Measurement: Fundamentals, Methods, Applications, Instrumentation. New York: VCH Publishers
- [3] Atmel. 2010. 8-bit AVR Microcontroller with 128Kbyte in System Programmable Flash. <http://www.atmel.com/Images/doc2467.pdf>

Nur Awalludin Zuhri, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2013, Pengaturan dan Pengolahan Data pada *Plan live cell chamber*, Dosen Pembimbing: Mochammad Rif'an, ST., MT. dan Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.,Sc.